ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 629.423.31 DOI: https://doi.org/10.18664/1994-7852.147.2014.75117

ДОСЛІДЖЕННЯ НА МАТЕМАТИЧНІЙ МОДЕЛІ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ У СИСТЕМІ ПЧ-АД КОМПРЕСОРНОЇ УСТАНОВКИ

Канд. техн. наук С.Г. Буряковський, С.О. Грига

ИССЛЕДОВАНИЕ НА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ ПЧ–АД КОМПРЕССОРНОЙ УСТАНОВКИ

Канд. техн. наук С.Г. Буряковский, С.О. Грига

RESEARCH ON MATHEMATICAL MODEL of TRANSIENTS In SYSTEM FC is AM of COMPRESSOR SETTING

Cand. of techn. sciences S.G. Buriakovskyi, S.O. Gryga

Подано цифрову реалізацію системи управління частотно-керованим асинхронним електроприводом компресора, яка дає змогу реалізувати режими, що важко або неможливо отримати на існуючому устаткуванні. Наведено не лише загальні рішення, але і подано приклад реалізації із врахуванням особливостей залізничного транспорту.

Ключові слова: *системи управління, частотно-керований асинхронний електропривод, електропривод компресора, залізничний транспорт.*

Представлена цифровая реализация системы управления частотно-управляемым асинхронным электроприводом компрессора, которая позволяет реализовать режимы, которые тяжело или невозможно получить на существующем оборудовании. Приведены не только общие решения, но и предоставлен пример реализации с учетом особенностей железнодорожного транспорта.

Ключевые слова: *системы управления, частотно-управляемый асинхронный электропривод, электропривод компрессора, железнодорожный транспорт.*

Presented a digital implementation of control chastotnoupravlyaemym asynchronous electric compressor, allowing to implement regimes that are difficult or impossible to obtain with the existing equipment. Contains not only the basic solutions, but also provided an example of implementation, taking into account the features of rail transport. We discuss the mathematical model of the frequency converter in the form of structural and functional circuits. Is a graph of simulation of the output voltage with a change in frequency and amplitude of magnitude. .rezhimy Considered that increase the efficiency and reliability of the compressor unit, responsible for electric braking system. The high performance of the proposed system, combined with the simplicity and accessibility of the element base as power switches and microprocessor technology of the new generation. The above graphic material available displays complex electromechanical and physical processes occurring in the system of electromechanical compressor unit.

Keywords: *control systems, frequency controlled asynchronous electric, electric compressor, trains.*

Вступ. Найбільш доцільним методом досліджень перехідних процесів, що відбуваються у складних електромеханічних системах, є математичне моделювання. Завдяки матмоделям можливо не тільки дослідити окремі координати системи та їх поведінку, а й оцінити вплив системи керування та окремих елементів на систему в цілому.

Оскільки компресорна установка являє собою складну електромеханічну систему, то дослідження її працездатності з новим органом керування – перетворювачем частоти –

необхідно проводити на моделі [1]. Для цього було застосовано традиційний підхід з моделювання як перетворювача частоти, так і асинхронного двигуна [2]. Механічна частина була змодельована згідно з диференціальними рівняннями, що описують процеси в ній [3]. Моделювання відбувалось у середовищі розробки Simulink пакета Mathlab через її простоту, широку функціональність і зручність роботи.

Метою дослідження є експериментальне визначення поведінки компресорної системи електровоза ВЛ80 з типовою та модернізованою системами керування, оцінка та порівняння отриманих результатів.

Виклад основного матеріалу. Для спрощення математичного опису асинхронної машини був застосований метод просторового вектора, що надав можливість істотно спростити й скоротити вищенаведену систему рівнянь. Суть методу полягає в тому, що миттєві значення (напруги, струми, потокозчеплення) можна математично перетворити так, щоб вони були представлені одним просторовим вектором. Це математичне перетворення має вигляд (наприклад, для струму статора)

$$i = 2/3\,(i + ai + a^2 i), \qquad (1)$$

де $a = e^{2j\pi/3}$, $a^2 = e^{4j\pi/3}$ – вектори, що враховують просторовий зсув обмоток;

$i = I_m \cos\omega t$;

$i = I_m \cos(\omega t - 2\pi/3)$;

$i = I_m \cos(\omega t + 2\pi/3)$ – трифазна симетрична система струмів статора.

Підставивши в рівняння значення миттєвих струмів, знайдемо математичний опис просторового вектора статорного струму:

$$i_s = 2/3 I_m(\cos\omega t + e^{2j\pi/3}\cos(\omega t - 2\pi/3) + e^{4j\pi/3}\cos(\omega t + 2\pi/3)) = I_m e^{j\omega t}. \qquad (2)$$

Для перетворення рівнянь у миттєвих значеннях до рівнянь у просторових векторах помножимо їх на вирази: перші рівняння – на 2/3, другі – на 2/3а, треті – на $2/3a^2$, і складемо роздільно для статора й ротора. Тоді одержимо:

$$\begin{aligned} u_s &= R_s i_s + d\psi_s/dt, \\ u &= RRi + d\psi_R/dt, \\ \psi_s &= L_s i_s + L_m(\theta) i, \\ \psi_R &= LRi + L_m(\theta) i_s, \end{aligned} \qquad (3)$$

При побудові реальних систем електропривода змінного струму як асинхронних, так і синхронних практично завжди в систему керування включаються перетворювачі координат. Це обумовлено тим, що реалізація регуляторів можлива лише в обертовій системі координат, а реальні струми в обмотках статора – це струми в нерухомій системі координат.

Тому, як правило, сучасні електроприводи змінного струму містять перетворювачі обох типів. Крім того, вони містять перетворювачі фаз 2/3 і 3/2.

У результаті функціональна схема електропривода набуває вигляду, який зображено на рис. 1.

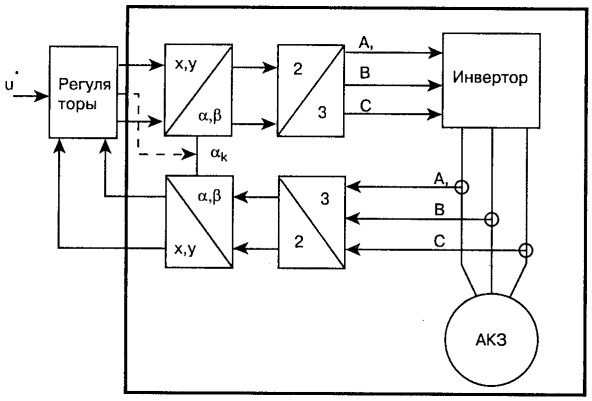


Рис. 1. Функціональна схема асинхронного електропривода

У блоці регуляторів виробляються сигнали керування в обертовій системі координат, а також швидкість обертання системи координат. Потім ці сигнали переводяться в систему нерухомих координат, які керують інвертором.

Для моделювання був обраний АКЗ типу АЕ92–402. На рис. 2 подана математична модель асинхронного трифазного двигуна з частотним перетворювачем, що служить приводом для компресора [4].

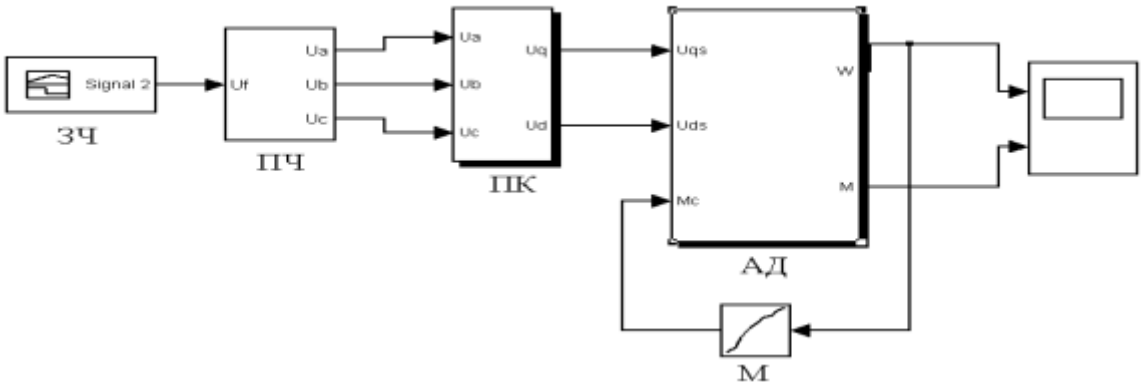


Рис. 2. Модель асинхронного двигуна

Дана модель складається з задавальника частоти і напруги (ЗЧ), що задає сигнал на перетворювач частоти (ПЧ), який постійний сигнал перетворює у змінний трифазний; перетворювача координат (ПК), що перетворює трифазну напругу у двофазну, і асинхронного двигуна (АД) [5,6].

На рис. 3 зображено процес перемикання живильної напруги та її частоти за допомогою частотного перетворювача [7]. З рисунка видно, що перетворювач частоти керується за законом Костенка [8], тобто зміна частоти прямопропорційна зміні амплитуди напруги.

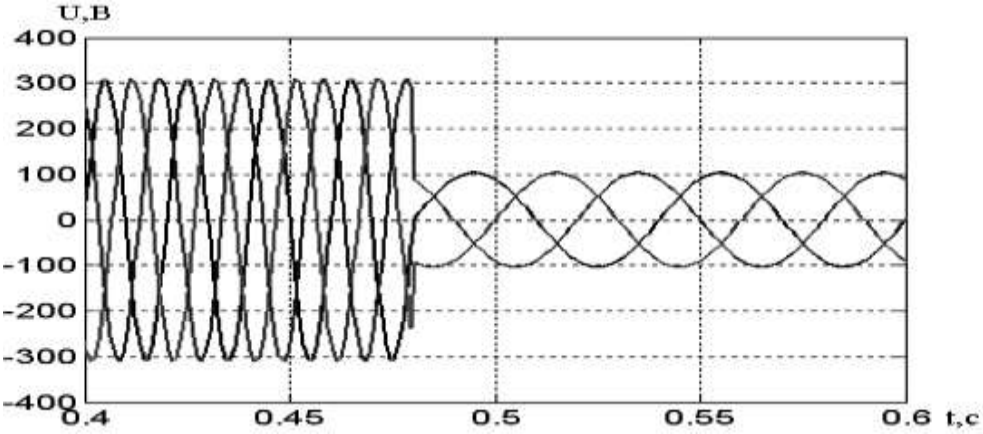


Рис. 3. Характеристика процесу перемикання живильної напруги та її частоти за допомогою частотного перетворювача

На рис. 4 наведено результати перехідного процесу в системі перетворювач частоти – асинхронний двигун на компресорі при номінальному значенні частоти та живильної напруги. Рис. 4, а показує швидкість асинхронного двигуна, а рис. 4, б – момент. З рисунка видно, що за умов незмінної напруги швидкість увесь час підтримується на одному значенні. Момент також дорівнює одній величині, що являє собою момент опору. На рис. 5 наведено графік зміни величини тиску в системі компресора, де видно, що значення тиску лінійно змінюється від 0 до 6,5 атмосфер протягом двох хвилин (120 с).

а)

б)

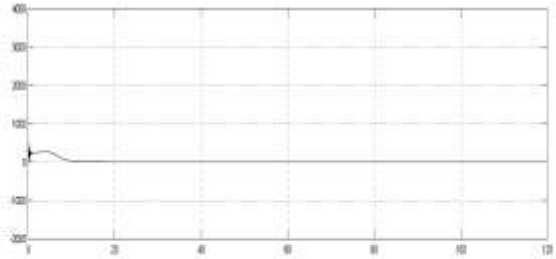


Рис. 4. Швидкість та момент асинхронного двигуна

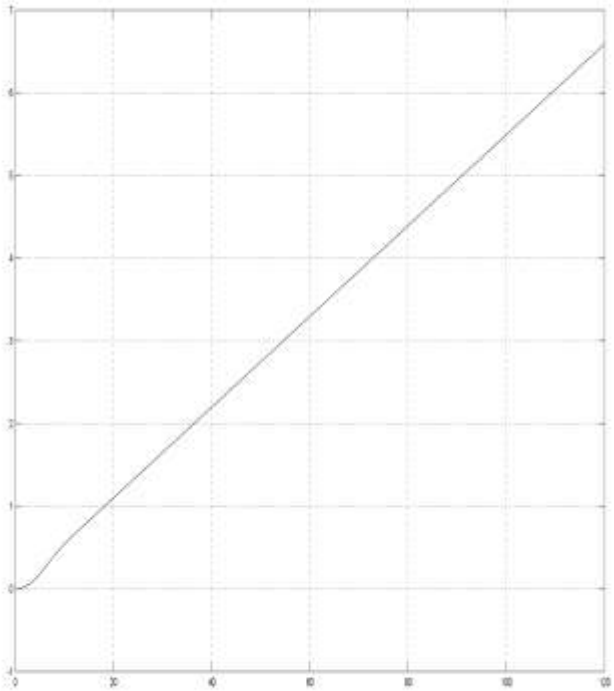
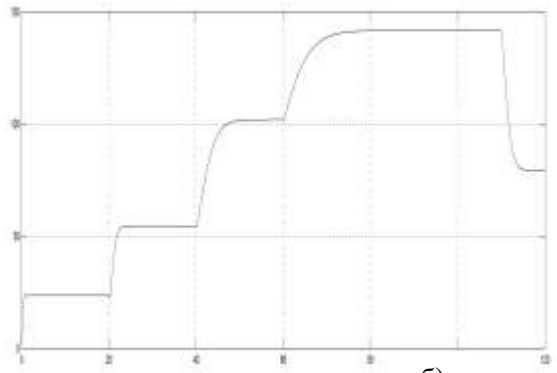


Рис. 5. Тиск у ресивері компресорної установки

На рис. 6 наведено результат розрахунку перехідного процесу в системі ПЧ-АД за умов регулювання величини частоти та амплітуди живильної напруги. На рис. 6, а показано зміну швидкості двигуна до швидкості, яка в півтора разу перевищує номінальну. Регулювання швидкості відбувається чотириступенево. Після 110 с перетворювач частоти знижує значення живильної напруги та частоти до значення 0,75 Uном [9]. На рис. 6, б наведено перехідний процес на валу асинхронного двигуна. На рис. 7 показано перехідний процес у ресивері компресора. Тут видно, що за 110 с тиск досягає верхнього значення номінального робочого диапазону [10]. Потім при зниженні завдання, при наявності втрату лінії, тиск знижується до нижньої припустимої межі.

а)



б)

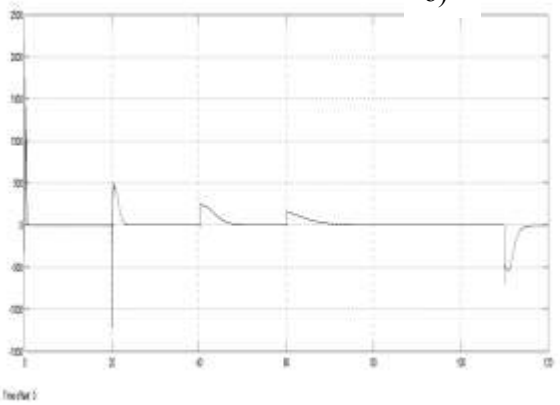


Рис. 6 Швидкість та момент асинхронного двигуна

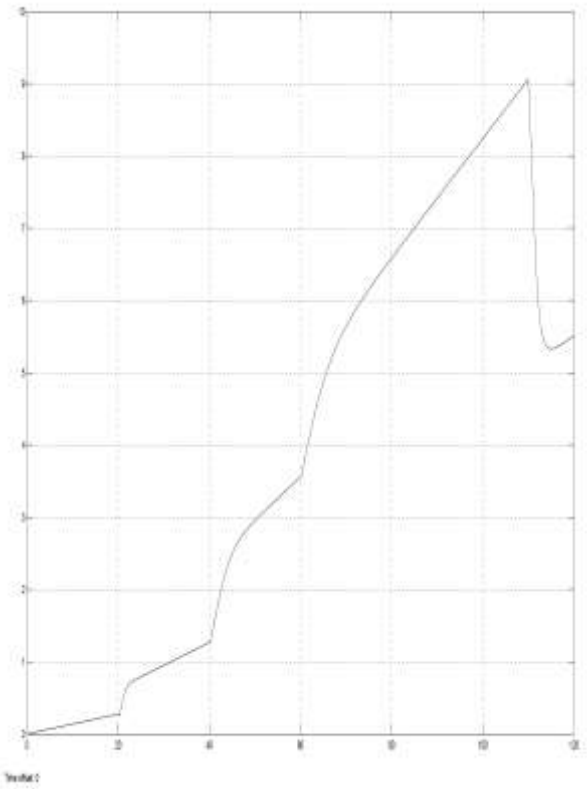


Рис. 7. Тиск у ресивері компресорної установки

Висновки:

1. Використання перетворювача частоти в компресорній установці доцільно, оскільки завдяки підвищенню частоти живильної напруги легко розігнати двигун до швидкості, вищої за номінальну, і таким чином компенсувати можливі втрати тиску в системі за аварійних обставин.

2. Завдяки використанню перетворювача частоти підвищується надійність роботи гальмівної системи.

Список використаних джерел

1. Герман-Галкин, С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем [Текст] / С.Г. Герман-Галкин. – СПб.: КОРОНА принт, 2007. – 320 с.

2. Ключев, В.И. Теория електропривода [Текст]: учебн. для вузов / В.И. Ключев. – М.: Энергоатомиздат, 1985. –560 с.

3. Розенфельд, В.Е. Теория электрической тяги [Текст] / В.Е. Розенфельд. – М.: Транспорт, 1983. – 328 с.

4. Теорія тяги та гальмові системи ЕРС [Текст]: методичні вказівки до виконання курсової роботи В.С. Нікулін, Н.Н. Одєгов. – Харків: УкрДАЗТ, 2005. – 26 с.

5. Быстрицкий, Х.Я. Устройство и работа электровозов переменного тока [Текст] / Х.Я. Быстрицкий. – М.: Транспорт, 1973. – 464 с.

6. Тягові статичні перетворювачі [Текст]: методичні вказівки до виконання курсової роботи / Ю.І. Гусевський, А.В. Бондаренко. – Харків: УкрДАЗТ, 2006. – 35 с.

7. Бурков, А.Т. Электронная техника и преобразователи [Текст]: учебн. для вузов ж.-д. трансп. / А.Т. Бурков. - М.: Транспорт, 1999.- 464 с.

8. Статичні перетворювачі тягового рухомого складу [Текст]: навч. посібник / за ред. Ю.П. Гончарова. – Харків: НТУ «ХПІ», 2004. – 184 с.

9. Электроподвижной состав с асинхронными тяговыми двигателями [Текст] / Н.А. Ротанов, А.С. Курбасов, Ю.Г. Быков. – М.: Транспорт, 1991. – 336 с.

10. Подвижной состав и тяга поездов [Текст] / под ред. В.В. Деева и Н.А. Фуфрянского. – М.: Транспорт, 1979. – 367 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор А.П. Фалендиш

Буряковський Сергій Геннадійович, канд. техн. наук, професор кафедри автоматизованих систем електричного транспорту Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-74. E-mail: sergbyr@i.ua.
Грига Сергій Олегович, магістр кафедри автоматизованих систем електричного транспорту Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (+38068)8405888. E-mail: gryga sergei@ukr.net.

Buriakovskiy Sergii Gennadievich PhD., assistant professor of the department automated systems of electric transport Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (+38050)3012069. E-mail: sergbyr@i.ua.
Gryga Sergii Olegovich magister of the department automated systems of electric transport Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (+38068)8405888. E-mail: gryga sergei@ukr.net.